

**Lungenvolumina und Atemwegwiderstände  
bei gesunden Zürcher Schulkindern.  
Normalwerte**

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung der Doktorwürde der Medizinischen  
Fakultät der Universität Zürich

vorgelegt von  
STEPHAN DÜGGELIN  
von Lachen SZ

Genehmigt auf Antrag von Prof. A. A. Bühlmann  
Zürich 1979

1980



Digitized by the Internet Archive  
in 2026

**Lungenvolumina und Atemwegwiderstände  
bei gesunden Zürcher Schulkindern.  
Normalwerte**

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung der Doktorwürde der Medizinischen  
Fakultät der Universität Zürich

vorgelegt von  
STEPHAN DÜGGELIN  
von Lachen SZ

Genehmigt auf Antrag von Prof. A. A. Bühlmann  
Zürich 1979



Sonderdruck aus den Helvetica Paediatrica Acta  
Vol. 35 (1980), Fasc. 1, S. 21-30

## Zusammenfassung

1. Bei 89 gesunden, 8- bis 12jährigen Zürcher Schulkindern (45 Knaben, 44 Mädchen) wurden mittels Ganzkörperplethysmographie die Lungenvolumina und die Atemwegwiderstände gemessen. 2. Die Vitalkapazität nimmt parallel zur Körpergrösse zu. Die Knaben haben bei gleicher Körpergrösse eine um 200 ml grössere Vitalkapazität. Erst ab 12 bis 13 Jahren wird die Vitalkapazität zusätzlich zur Körpergrösse auch vom Alter beeinflusst. 3. Der Anteil der Vitalkapazität an der Totalkapazität beträgt bei Knaben im Mittel 0,835 und bei Mädchen 0,824 und ist unabhängig von der Vitalkapazität. 4. Der Atemwegwiderstand ist bei ruhiger Spontanatmung wesentlich höher als bei Erwachsenen und nimmt mit zunehmender Körpergrösse und Vitalkapazität ab. 5. Die relative Einsekundenkapazität beträgt inspiratorisch 87% und expiratorisch 80% der effektiven Vitalkapazität. Diese Werte sind unabhängig von Geschlecht und Vitalkapazität.

## Résumé

1. Les volumes pulmonaires et les résistances des voies respiratoires ont été mesurés auprès de 89 écoliers zurichois (45 garçons, 44 filles) et mis en corrélation avec le sexe, l'âge et la taille. 2. La capacité vitale augmente parallèlement à la taille. La capacité vitale chez les garçons est supérieure de 200 ml pour la même taille. En plus de la taille, l'âge n'influence la capacité vitale qu'à partir de 12 à 13 ans. 3. La contribution de la capacité vitale à la capacité totale est en moyenne de 0,835 pour les garçons et de 0,824 pour les filles. 4. La résistance des voies respiratoires est nettement supérieure chez les enfants par rapport aux adultes et elle diminue avec la croissance et l'augmentation de la capacité vitale. 5. La  $FIV_1$  est de 87% et la  $FEV_1$  est de 80% de la capacité vitale effective. Ces valeurs sont indépendantes du sexe et de la capacité vitale.

## Summary

1. Total- and vital capacity (TC, VC),  $FIV_1$ ,  $FEV_1$  and airway resistance were determined in 45 boys and 44 girls aged 8 to 12 years with the aid of body-plethysmography. 2. VC correlates best with body height. Boys have a 200 ml greater VC than girls. Beginning with 12 to 13 years, age is an additional factor modifying VC. 3. The ratio VC/TC averages 0.835 in boys and 0.824 in girls, the ratio is independent of the VC. 4. Airway resistance is appreciably higher than in adults and decreases with rising VC and body growth. 5.  $FIV_1$  is 87%,  $FEV_1$  is 80% of VC. These values are independent of sex and VC.

Für die Beurteilung der Lungenfunktion ist die Kenntnis zuverlässiger Normalwerte unerlässlich. Während für Erwachsene gesicherte Normalwerte bis ins höhere Alter vorliegen, sind für Kinder und Jugendliche, deren Lungenfunktion sich mit fortschreitendem Wachstum beträchtlich ändert, für die verschiedenen Altersgruppen nur relativ wenige Untersuchungen vorhanden. Die Mehrzahl dieser Untersuchungen beschränkte sich auf die Messung der Vitalkapazität. Aus der Schweiz liegen neuere Untersuchungen nur bei 13- bis 20jährigen Schülern vor (Tab. 1).

Im folgenden wird über die Befunde bei 89 Zürcher Schulkindern im Alter von 8 bis 12 Jahren berichtet.<sup>1</sup>

Mittels Ganzkörperplethysmographie wurden für jedes Kind folgende Werte ermittelt: Total- und Vitalkapazität (funktionelle Residualkapazität, Residualvolumen), in- und expiratorische Einsekundenkapazität, in- und expiratorischer Atemwegwiderstand bei ruhiger Spontanatmung durch den Mund.

## Methodik

### *a) Untersuchungsgut*

Es wurden 89 gesunde Zürcher Primarschulkinder (45 Knaben und 44 Mädchen) im Alter von 8 bis 12 Jahren untersucht. Alle Kinder waren normal entwickelt und entsprachen in Grösse und Gewicht den Altersnormwerten (Ausnahmen: ein Mädchen zu gross und zu schwer, ein Mädchen übergewichtig). Grundlage bildeten die anthropometrischen Tafeln des Children Medical Center, Boston. Es darf angenommen werden, dass die Kinder einen guten Querschnitt durch die Bevölkerung repräsentieren.

Da die Kinder in Dreiergruppen durch den Untersucher selbst im Schulhaus abgeholt wurden, konnte durch den Kontakt ein gewisses Vertrauen hergestellt werden, das dann während der Untersuchung von Vorteil war. Mit der Wahl von Dreiergruppen (zwei Kinder konnten der Untersuchung zuschauen) konnte erreicht werden, dass die Angst vor der Isolierung in der Plethysmographenkammer praktisch immer verschwand. Zudem war die Teilnahme freiwillig, was zur Folge hatte, dass sehr ängstliche Kinder gar nicht zur Untersuchung kamen.

<sup>1</sup> Herrn Dr. H. G. BODMER, Schularzt der Stadt Zürich, sowie den Lehrern des Schulhauses Hutten danken wir für die tatkräftige Unterstützung.

Tabelle 1. Neuere Arbeiten über Lungenvolumina und Atemwegwiderstände bei Kindern und Jugendlichen

| Autoren                                    | TK | VK | FEV <sub>1,0</sub> | Ra | Knaben und Mädchen getrennt | Alter (Jahre) | Anzahl | Land     | Jahr |
|--------------------------------------------|----|----|--------------------|----|-----------------------------|---------------|--------|----------|------|
| Lyons et al. [12] .....                    |    | +  | +                  |    | +                           | 6-14          | 1163   | USA      | 1960 |
| De Muth et al. [8] .....                   |    | +  |                    |    | +                           | 4-18          | 147    | USA      | 1965 |
| Nolte [13] .....                           |    |    |                    | +  |                             | 5-11          | 80     | BRD      | 1968 |
| Akgün und Özgönül et al. [1] .....         | +  | +  | +                  |    | +                           | 8-20          | 260    | Türkei   | 1969 |
| Geubelle [10] .....                        | +  | +  |                    |    | +                           | 5-16          | 100    | Belgien  | 1969 |
| Dickman et al. [9] .....                   |    | +  | +                  |    | +                           | 5-18          | 950    | USA      | 1971 |
| Juhl [11] .....                            |    | +  | +                  |    | +                           | 7-17          | 1011   | Dänemark | 1971 |
| Brantschen et al. [5] .....                |    | +  |                    |    |                             | 13-20         | 327    | Schweiz  | 1974 |
| Berger und Nolte [3] .....                 |    |    |                    | +  |                             | 3-16          | 116    | BRD      | 1977 |
| Düggelin und Bühlmann (diese Arbeit) ..... | +  | +  | +                  | +  | +                           | 8-12          | 89     | Schweiz  | 1979 |

TK = Totalkapazität; VK = Vitalkapazität; FEV<sub>1,0</sub> = expiratorische Einsekundenkapazität; Ra = Resistance (Atemwegwiderstand) bei Mundatmung

## b) Methodik

Alle Messungen wurden mit einem druckkonstanten Ganzkörperplethysmographen (Firma Fenyves & Gut, Basel) und im Sitzen durchgeführt. Alle Werte verstehen sich unter BTPS-Bedingungen (37° C, Wasserdampfsättigung, effektiver Barometerdruck).

- *Vital- und Einsekundenkapazität:* Für die Vital- und Einsekundenkapazität (in- und expiratorisch) zählte aus drei Messungen jeweils der beste Wert.
- *Berechnung der funktionellen Residualkapazität:* In der Formel für die Berechnung des intrathorakalen Gasvolumens (FRK) ist ein Korrekturfaktor von 310 ml für mitgemessene Nicht-Lungenvolumen vorhanden. Dieser Korrekturfaktor setzt sich zusammen aus 140 ml Totraum des Mundstücks mit Pneumotachograph und 170 ml gasgefüllte Räume wie Nebenhöhlen und Magenblase. Theoretisch haben Kinder kleinere Gasräume als Erwachsene, so dass 170 ml relativ zuviel wären und deshalb bei der Subtraktion der vollen 310 ml eine zu kleine funktionelle Residualkapazität resultieren würde. Deshalb wurden bei 10 Kindern die Vitalkapazität und das Residualvolumen zusätzlich mit der Helium-Mischgas-Methode gemessen und mit den plethysmographisch bestimmten Werten verglichen. Dabei ergaben sich keine systematischen Differenzen. Die funktionelle Residualkapazität wurde deshalb in der Folge bei der plethysmographischen Messung wie für Erwachsene mit einem Korrekturfaktor von 310 ml berechnet.
- *Berechnung der Atemwegwiderstände (Mundatmung):* Die Messung der Resistance erfolgte bei ruhiger leicht forcierter Spontanatmung im Sitzen mit maximalen Stromstärken von zirka 1,1 bis 1,2 l/sec. Verwertet wurde der Alveolardruck, der beim Erreichen einer Stromstärke von 1 l/sec zu Beginn der In- bzw. Expiration gemessen wurde. Zur Verwendung gelangte der Mittelwert von 6 bis 10 Druck-Strömungskurven.
- *Auswertung:* Die Messwerte wurden mit statistischen Standardmethoden ausgewertet, für die grössenabhängigen Messwerte wurden die linearen Regressionen berechnet.

## Ergebnisse

### a) Vitalkapazität

Abb. 1 zeigt die Darstellung der gemessenen Vitalkapazität in Abhängigkeit von der Körpergrösse. Die Korrelation zwischen Vitalkapazität und Körpergrösse erwies sich als hochsignifikant. Die Knaben haben geschlechtsabhängig eine um 200 ml grössere Vitalkapazität. In Tabelle 2 sind die Regressionsgleichungen für Knaben und Mädchen gegenübergestellt.

Bei gleichem Alter variiert die Körpergrösse stark. Deshalb ergibt sich für die Beziehung zwischen Vitalkapazität und Alter eine breite Streuung und ein geringerer Korrelationskoeffizient (Tab. 3).

Um den Einfluss des Alters als zweite unabhängige Variable zu untersuchen, wurden die Kinder in Altersgruppen zusammengefasst und die Regression für diese Gruppen getrennt berechnet. Durch die ähnliche Lage der Geraden in Steilheit und Abstand ist man zur Annahme berechtigt, dass das Alter für diese Altersgruppen – 8 bis 12 Jahre – noch keine Rolle spielt (Abb. 2 und 3, Tab. 4 und 5).

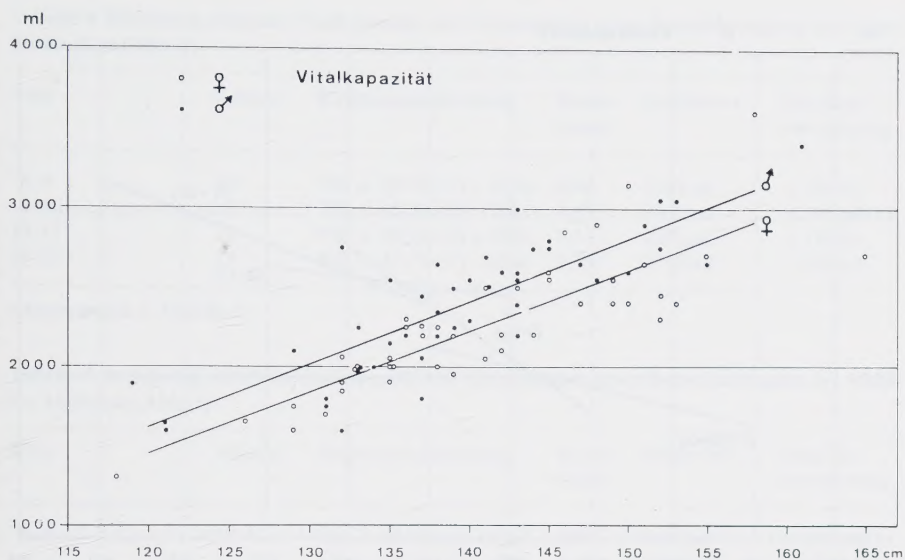


Abb. 1. Vitalkapazität bei 45 Knaben und 44 Mädchen im Alter von 8 bis 12 Jahren in Abhängigkeit von der Körpergröße. Die Regressionsgeraden zeigen einen mit der Körpergröße nur wenig ändernden Geschlechtsunterschied. Die Regressionsgeraden ergeben den Sollwert für die Vitalkapazität.

Tabelle 2. Beziehung zwischen Körpergröße und Vitalkapazität (Abb. 1)

|                            | Knaben                       | Mädchen                      |
|----------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Anzahl .....               | 45                           | 44                           |
| Regressionsgleichung ..... | $VK = 39,39 \times G - 3102$ | $VK = 37,82 \times G - 3071$ |
| Korrelation .....          | $r = 0,83$                   | $r = 0,83$                   |
| Mittelwert .....           | $\bar{x} = 2395 \text{ ml}$  | $\bar{x} = 2260 \text{ ml}$  |
| Standardabweichung .....   | $\pm 238 \text{ ml}$         | $\pm 244 \text{ ml}$         |

VK = gesuchte Vitalkapazität in ml; G = gemessene Körpergröße in cm

Tabelle 3. Beziehung zwischen Alter und Vitalkapazität

|                            | Knaben                       | Mädchen                      |
|----------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Anzahl .....               | 45                           | 44                           |
| Regressionsgleichung ..... | $VK = 261,93 \times A - 255$ | $VK = 250,78 \times A - 265$ |
| Korrelation .....          | $r = 0,76$                   | $r = 0,68$                   |
| Mittelwert .....           | $\bar{x} = 2396 \text{ ml}$  | $\bar{x} = 2267 \text{ ml}$  |
| Standardabweichung .....   | $\pm 274 \text{ ml}$         | $\pm 319 \text{ ml}$         |

A = Alter

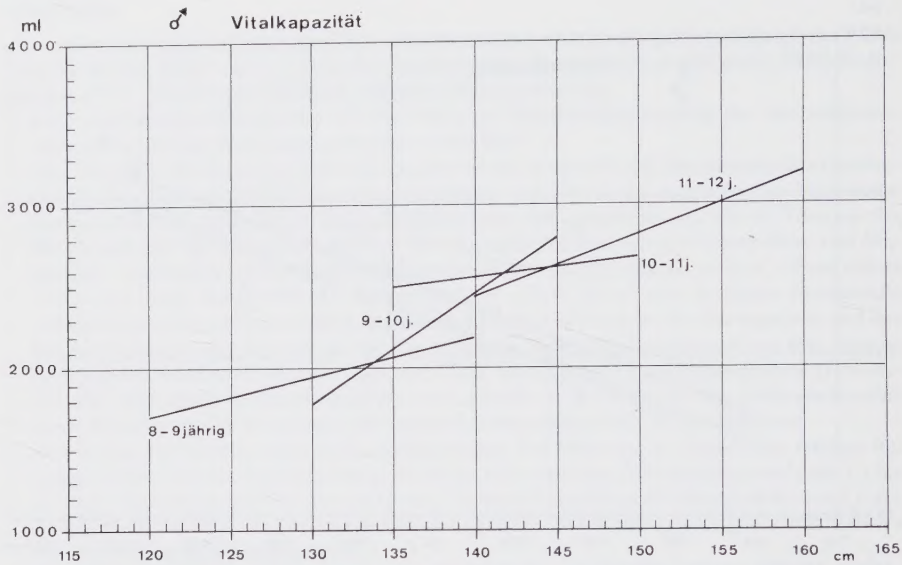


Abb. 2. Regressionsgeraden für die Vitalkapazität bei nach Alter gruppierten Knaben.

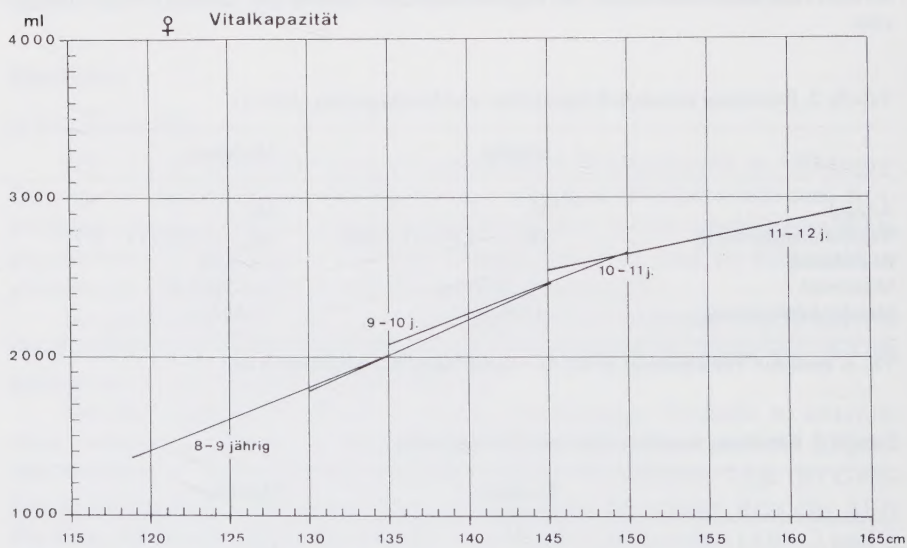


Abb. 3. Regressionsgeraden für die Vitalkapazität bei nach Alter gruppierten Mädchen.

Tabelle 4. Beziehung zwischen Vitalkapazität und Körpergrösse unter Berücksichtigung des Alters für Knaben (Abb. 2)

| Alter       | Anzahl | Regressionsgleichung         | Korre-<br>lation | Mittelwert | Standard-<br>abweichung |
|-------------|--------|------------------------------|------------------|------------|-------------------------|
| 8-9 .....   | 10     | $VK = 24,62 \times G - 1256$ | 0,66             | 1935 ml    | $\pm 209$ ml            |
| 9-10 .....  | 9      | $VK = 68,20 \times G - 7092$ | 0,57             | 2161 ml    | $\pm 266$ ml            |
| 10-11 ..... | 11     | $VK = 10,91 \times G + 1036$ | 0,31             | 2581 ml    | $\pm 184$ ml            |
| 11-12 ..... | 15     | $VK = 37,75 \times G - 2841$ | 0,75             | 2710 ml    | $\pm 232$ ml            |

Abkürzungen s. Tabelle 2

Tabelle 5. Beziehung zwischen Vitalkapazität und Körpergrösse unter Berücksichtigung des Alters für Mädchen (Abb. 3)

| Alter       | Anzahl | Regressionsgleichung         | Korre-<br>lation | Mittelwert | Standard-<br>abweichung |
|-------------|--------|------------------------------|------------------|------------|-------------------------|
| 8-9 .....   | 9      | $VK = 39,73 \times G - 3369$ | 0,87             | 1861 ml    | $\pm 162$ ml            |
| 9-10 .....  | 11     | $VK = 44,79 \times G - 4033$ | 0,79             | 2086 ml    | $\pm 173$ ml            |
| 10-11 ..... | 11     | $VK = 38,39 \times G - 3104$ | 0,72             | 2309 ml    | $\pm 264$ ml            |
| 11-12 ..... | 13     | $VK = 19,16 \times G - 229$  | 0,34             | 2665 ml    | $\pm 320$ ml            |

Abkürzungen s. Tabelle 2

*b) Totalkapazität und Residualvolumen*

Das Verhältnis Vitalkapazität/Totalkapazität ist beim Erwachsenen altersabhängig. Zwischen 8 und 12 Jahren konnte keine Altersabhängigkeit festgestellt werden. Der Mittelwert für den Quotienten  $VK/TK$  beträgt für Knaben  $0,835 \pm 0,062$  und für Mädchen  $0,824 \pm 0,050$ . Mit diesem Quotienten können basierend auf der grössenabhängigen Vitalkapazität die Sollwerte für die Totalkapazität und das Residualvolumen angegeben werden.

Die funktionelle Residualkapazität beträgt beim Erwachsenen im Sitzen 45–55% der Totalkapazität. Bei den 8- bis 12jährigen Kindern wurden folgende Mittelwerte für den Quotienten  $FRK/TK$  festgestellt: für Knaben  $0,436 \pm 0,068$  und für Mädchen  $0,424 \pm 0,058$ .

*c) Einsekundenkapazität (Tiffeneautest)*

Der Absolutwert der Einsekundenkapazität variiert mit der Vitalkapazität. Für den Anteil der Einsekundenkapazität an der Vitalkapazität (relative Einsekundenkapazität) liessen sich keine Unterschiede zwischen Knaben und Mädchen feststellen und auch keine Abhängigkeit zur Körpergrösse oder zum Alter nachweisen. Der Mittelwert für die inspiratorische Einsekundenkapazität beträgt  $87 \pm 6\%$  und für die expiratorische Einsekundenkapazität  $80 \pm 7\%$  der Ist-Vitalkapazität.

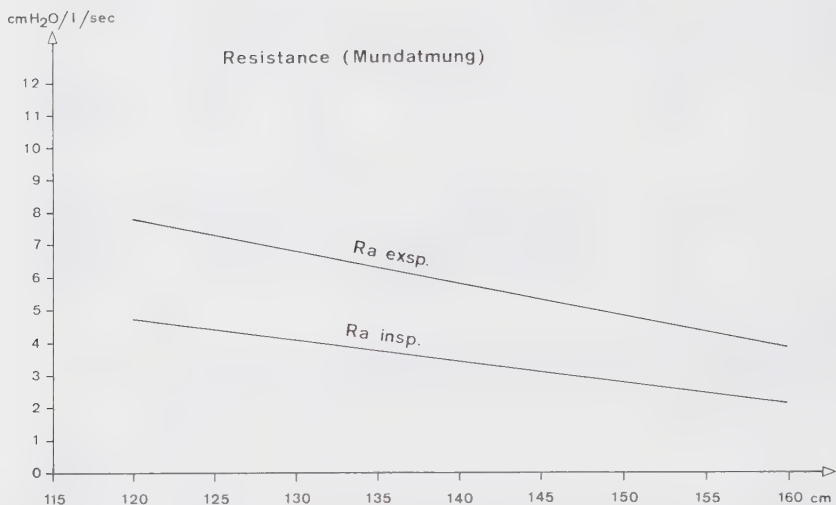


Abb. 4. Regressionsgeraden für die in- und expiratorische Resistance bei Knaben und Mädchen in Abhängigkeit von der Körpergröße.

Tabelle 6. Beziehung zwischen Körpergröße und Atemwegwiderständen (bei Erreichen einer Stromstärke von 1 l/sec)

|                            | Resistance<br>inspiratorisch                  | Resistance<br>expiratorisch                   |
|----------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Anzahl .....               | 88                                            | 88                                            |
| Regressionsgleichung ..... | $Ra = -0,0653 \times G + 12,55$               | $Ra = -0,1007 \times G + 19,88$               |
| Korrelation .....          | $r = 0,42$                                    | $r = 0,49$                                    |
| Mittelwert .....           | $\bar{x} = 3,40 \text{ cm H}_2\text{O/l/sec}$ | $\bar{x} = 5,76 \text{ cm H}_2\text{O/l/sec}$ |
| Standardabweichung .....   | $s = \pm 1,28$                                | $s = \pm 1,65$                                |

Ra = gesuchte Resistance; G = Körpergröße in cm

#### d) Resistance

Abb. 4 zeigt den Atemwegwiderstand bei ruhiger Spontanatmung durch den Mund für In- und Expiration. Es ergab sich eine klare Beziehung zur Körpergröße. Die expiratorische Resistance ist deutlich höher als die inspiratorische. Es liess sich für diese Altersklassen auch kein Geschlechtsunterschied feststellen. Die Regressionsgleichungen finden sich in Tabelle 6.

## Diskussion

Die Zunahme des Lungenvolumens ist am besten mit dem Längenwachstum korreliert. Bei 8- bis 12jährigen Kindern spielt das Alter als zusätzlicher Faktor neben der Körpergrösse noch keine Rolle. Mit dem Einsetzen der Pubertät, also ab 12 bis 13 Jahren, gewinnt das Alter zunehmend an Einfluss [5, 9]. Der Sollwert für die Vitalkapazität bei 8- bis 12jährigen lässt sich auf einfachste Weise mittels einer nur Geschlecht und Körpergrösse berücksichtigenden Regressionsgleichung ermitteln (Abb. 1, Tab. 2). Die für die Vitalkapazität gemessenen Werte stimmen gut mit denen von GEUBELLE [10] sowie mit denen von AKGÜN und ÖZGÖNÜL [1] überein. Unsere Werte liegen etwas höher als die der amerikanischen Autoren. Mehrere Autoren sind der Meinung, dass die Sollwerte für die Vitalkapazität von Rasse zu Rasse und sogar von Volk zu Volk variieren. Neuere europäische Untersuchungen ergeben auch für die Erwachsenen eine im Vergleich zu den in den USA gültigen Sollwerten um rund 10% grössere Vitalkapazität [6]. Entsprechend der Streuung kann wie bei Erwachsenen auch bei Kindern eine Einschränkung der Vital- und Totalkapazität bis zu 20% der Sollwerte noch als normal bezeichnet werden [6, 7].

Der Strömungswiderstand in den Luftwegen ist bei Kindern durchwegs höher als bei Erwachsenen, was sich mit dem kleineren Durchmesser der Luftwege erklärt. Die beste Beziehung ergab sich auch hier wieder mit der Körpergrösse und damit auch mit der Vitalkapazität. Diese gute Korrelation legt den Schluss nahe, dass unter normalen Verhältnissen der Atemwegwiderstand bei ruhiger Spontanatmung in erster Linie von der Lungengrösse bestimmt wird. Obwohl bei Kindern der in- und expiratorische Atemwegwiderstand wesentlich höher ist als bei Erwachsenen, ist die relative Einsekundenkapazität inspiratorisch mit im Mittel 87% gleich wie bei Erwachsenen und liegt expiratorisch mit im Mittel 80% im oberen Normbereich der Erwachsenen. Bei Kindern kann eine relative Sekundenkapazität von inspiratorisch weniger als 80% und expiratorisch von weniger als 70% der effektiven Vitalkapazität als pathologisch bezeichnet werden.

- 1 Akgün N., Özgönül H.: Spirometric studies on normal Turkish subjects aged 8 to 20 years. *Thorax* 24, 714 (1969).
- 2 Berdel D., Magnussen H., Holle J. P., Hartmann V.: Vergleich der oszillatorischen Atemwiderstandsmessung mit der Plethysmographie und Spirometrie im Kindesalter. *Schweiz. med. Wschr.* 109, 92 (1979).
- 3 Berger D., Nolte D.: Bodyplethysmographische Sollwerte für Kinder. *Prax. Pneumol.* 31, 600 (1977).
- 4 Berger D., Nolte D.: Bodyplethysmographie bei Kindern. *Med. Klin.* 72, 1080 (1977).
- 5 Brantschen W., Gysi T., Scherrer M.: Sollwerte der Vitalkapazität für Jugendliche im Entwicklungsalter. *Schweiz. med. Wschr.* 104, 540 (1974).
- 6 Bühlmann A. A., Scherrer M.: Neue Normalwerte für die Vital- und Totalkapazität der Lungen. *Schweiz. med. Wschr.* 103, 660 (1973).
- 7 Bühlmann A. A.: Normalwerte für die Vitalkapazität und die expiratorische Sekundenkapazität der Lungen im höheren Alter. *Schweiz. med. Wschr.* 109, 677 (1979).





